



PTO/SB/21 (08-03)

Approved for use through 07/31/2006. OMB 0651-0031

U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

<b>TRANSMITTAL FORM</b> <i>(to be used for all correspondence after initial filing)</i>	Application Number	10/708,525	
	Filing Date	March 10, 2004	
	First Named Inventor	Susumu Noda	
	Art Unit	(to be assigned)	
	Examiner Name	(to be assigned)	
Total Number of Pages in This Submission	31	Attorney Docket Number	39.039

ENCLOSURES (Check all that apply)		
<input type="checkbox"/> Fee Transmittal Form	<input type="checkbox"/> Drawing(s)	<input type="checkbox"/> After Allowance communication to Group
<input type="checkbox"/> Fee Attached	<input type="checkbox"/> Licensing-related Papers	<input type="checkbox"/> Appeal Communication to Board of Appeals and Interferences
<input type="checkbox"/> Amendment/Reply	<input type="checkbox"/> Petition	<input type="checkbox"/> Appeal Communication to Group (Appeal Notice, Brief, Reply Brief)
<input type="checkbox"/> After Final	<input type="checkbox"/> Petition to Convert to a Provisional Application	<input type="checkbox"/> Proprietary Information
<input type="checkbox"/> Affidavits/declaration(s)	<input type="checkbox"/> Power of Attorney, Revocation	<input type="checkbox"/> Status Letter
<input type="checkbox"/> Extension of Time Request	<input type="checkbox"/> Change of Correspondence Address	<input type="checkbox"/> Other Enclosure(s) (please identify below):
<input type="checkbox"/> Express Abandonment Request	<input type="checkbox"/> Terminal Disclaimer	
<input type="checkbox"/> Information Disclosure Statement	<input type="checkbox"/> Request for Refund	
<input checked="" type="checkbox"/> Certified Copy of Priority Document(s)	<input type="checkbox"/> CD, Number of CD(s) _____	
<input type="checkbox"/> Response to Missing Parts/Incomplete Application	Remarks	
<input type="checkbox"/> Response to Missing Parts under 37 CFR 1.52 or 1.53		

SIGNATURE OF APPLICANT, ATTORNEY, OR AGENT	
Firm or Individual name	Judge Patent Firm
Signature	
Date	March 10, 2004

CERTIFICATE OF TRANSMISSION/MAILING			
I hereby certify that this correspondence is being facsimile transmitted to the USPTO or deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on the date shown below.			
Typed or printed name			
Signature		Date	

This collection of information is required by 37 CFR 1.5. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to 12 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.



**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

App. No. : 10/708,525  
Applicant : Susumu Noda, et al.  
Filed : March 10, 2004  
Tech. Cntr./Art Unit : (To be assigned)  
Examiner : (To be assigned)

Docket No. : 39.039  
Customer No. : 29453

Honorable Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

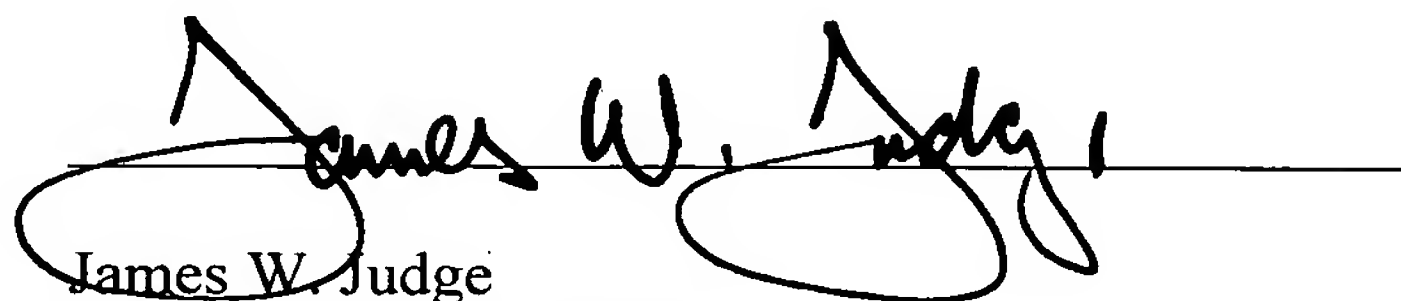
**Submission of Documents in Claiming Priority Right**  
**Under 35 U.S.C. § 1.119(b)**

Sir:

To complete the claim made for the benefit of an earlier foreign filing date on filing the application identified above, Applicant herewith submits a certified copy of **Japanese Patent Application No. JP2003-071834, filed March 17, 2003.**

Respectfully submitted,

March 10, 2004

  
James W. Judge  
Registration No. 42,701

JUDGE PATENT FIRM  
Rivière Shukugawa 3<sup>rd</sup> Fl.  
3-1 Wakamatsu-cho  
Nishinomiya-shi, Hyogo 662-0035  
JAPAN  
Telephone: 800-784-6272  
Facsimile: 425-944-5136  
e-mail: [jj@judgepat.jp](mailto:jj@judgepat.jp)

App No. 10/708,525

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年   3 月 1 7 日  
Date of Application:

出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 0 7 1 8 3 4  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 3 - 0 7 1 8 3 4 ]

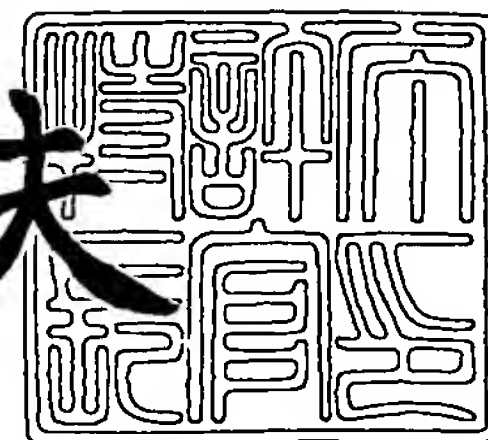
出      願      人  
Applicant(s):            京都大学長  
                             住友電気工業株式会社



2 0 0 3 年 1 1 月 2 8 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 0 9 8 6 5 6

【書類名】 特許願

【整理番号】 1022227

【提出日】 平成15年 3月17日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/10

【発明者】

    【住所又は居所】 京都府京都市左京区吉田本町 3 6 の 1 番地 京都大学内

    【氏名】 野田 進

【発明者】

    【住所又は居所】 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内

    【氏名】 赤羽 良啓

【発明者】

    【住所又は居所】 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内

    【氏名】 松浦 尚

【特許出願人】

    【持分】 050/100

    【識別番号】 391012442

    【住所又は居所】 京都府京都市左京区吉田本町 3 6 の 1 番地

    【氏名又は名称】 京都大学長 長尾 ▲真▼

【特許出願人】

    【持分】 050/100

    【識別番号】 000002130

    【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

    【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

    【代表者】 岡山 紀男

## 【代理人】

【識別番号】 100064746

【弁理士】

【氏名又は名称】 深見 久郎

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100085132

【弁理士】

【氏名又は名称】 森田 俊雄

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100083703

【弁理士】

【氏名又は名称】 仲村 義平

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100096781

【弁理士】

【氏名又は名称】 堀井 豊

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100098316

【弁理士】

【氏名又は名称】 野田 久登

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100109162

【弁理士】

【氏名又は名称】 酒井 將行

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008693

【納付金額】 10,500円

【その他】 国等以外のすべての者の持分の割合 0 5 0 / 1 0 0

【提出物件の目録】

【物件名】	明細書	1
【物件名】	図面	1
【物件名】	要約書	1
【プルーフの要否】	要	

【書類名】 明細書

【発明の名称】 2次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器と波長モニタ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 と第 2 の 2 次元フォトリック結晶を含む波長分合波器であって、

前記第 1 の 2 次元フォトリック結晶は線状欠陥からなる第 1 の導波路と点状欠陥からなる第 1 の共振器とを含み、前記第 1 の共振器は前記第 1 の導波路から特定波長の光を取り込んで前記第 1 のフォトリック結晶外へ放射しまたは逆に前記第 1 のフォトリック結晶外から前記特定波長の光を前記第 1 の導波路内へ導入するように作用し、

前記第 2 の 2 次元フォトリック結晶は前記第 1 の導波路と実質的に同一特性の第 2 の導波路および前記第 1 の共振器と実質的に同一特性の第 2 の共振器とを含み、

前記第 1 の 2 次元フォトリック結晶の主面と前記第 1 の導波路中の光の電界ベクトルとが任意の角度  $\alpha$  をなす場合に、前記第 2 の 2 次元フォトリック結晶の主面と前記第 2 の導波路中の光の電界ベクトルとが  $\alpha + (\pi / 2)$  の角度をなすように前記第 1 と前記第 2 の導波路が互いに光を授受するように光学的に直列接続されていることを特徴とする波長分合波器。

【請求項 2】 前記第 1 と第 2 の 2 次元フォトリック結晶はそれらの主面が互いに直交するように配置され、前記第 1 と第 2 の導波路が偏波保存ファイバを介してまたは直接に互いに直列接続されていることを特徴とする請求項 1 に記載の波長分合波器。

【請求項 3】 前記第 1 と前記第 2 の 2 次元フォトリック結晶はそれらの主面が互いに平行になるように配置され、前記第 1 と前記第 2 の導波路は偏波保存ファイバを介して互いに直列接続されており、前記偏波保存ファイバは前記第 1 の導波路側から前記第 2 導波路側までにそのファイバ軸の周りに  $\pi / 2$  だけ振られていることを特徴とする請求項 1 に記載の波長分合波器。

【請求項 4】 前記第 1 と前記第 2 の 2 次元フォトリック結晶はそれらの主面が互いに平行になるように配置され、前記第 1 と前記第 2 の導波路は前記光の

電界ベクトルを  $\pi/2$  だけ回転させるファラデー回転子または  $1/2$  波長板を介して互いに直列接続されていることを特徴とする請求項 1 に記載の波長分合波器。

【請求項 5】 第 1 と第 2 の 2 次元フォトリック結晶を含む波長分合波器であって、

前記第 1 の 2 次元フォトリック結晶は線状欠陥からなる第 1 の導波路と点状欠陥からなる第 1 の共振器とを含み、前記第 1 の共振器は前記第 1 の導波路から特定波長の光を取り込んで前記第 1 のフォトリック結晶外へ放射しまたは逆に前記第 1 のフォトリック結晶外から前記特定波長の光を前記第 1 の導波路内へ導入するように作用し、

前記第 2 の 2 次元フォトリック結晶は前記第 1 の導波路と実質的に同一特性の第 2 の導波路および前記第 1 の共振器と実質的に同一特性の第 2 の共振器とを含み、

前記第 1 と前記第 2 の導波路は等分波光カップラを介して 1 つの光ファイバに並列接続されており、

前記第 1 の 2 次元フォトリック結晶の主面と前記第 1 の導波路中の光の電界ベクトルとが任意の角度  $\alpha$  をなす場合に、前記第 2 の 2 次元フォトリック結晶の主面と前記第 2 の導波路中の光の電界ベクトルとが  $\alpha + (\pi/2)$  の角度をなすように前記第 1 と前記第 2 の導波路が前記等分波光カップラと光学的に接続されていることを特徴とする波長分合波器。

【請求項 6】 前記第 1 と前記第 2 の 2 次元フォトリック結晶はそれらの主面が互いに直交するように配置され、前記第 1 と前記第 2 の導波路はそれぞれに対応する第 1 と第 2 の偏波保存ファイバを介してまたは直接に前記等分波光カップラに並列接続されていることを特徴とする請求項 5 に記載の波長分合波器。

【請求項 7】 前記第 1 と第 2 の 2 次元フォトリック結晶はそれらの主面が互いに平行になるように配置され、前記第 1 の導波路は第 1 の偏波保存ファイバを介してまたは直接に前記等分波カップラに接続され、前記第 2 の導波路は第 2 の偏波保存ファイバを介して前記等分波光カップラに接続されており、前記第 2 の偏波保存ファイバは前記光カップラ側から前記第 2 導波路側までにそのファイバ軸の

周りに  $\pi/2$  だけ捩られていることを特徴とする請求項 5 に記載の波長分合波器。

【請求項 8】 前記第 1 と第 2 の 2 次元フォトリック結晶はそれらの主面が互いに平行になるように配置され、前記第 1 と前記第 2 の導波路はそれぞれに対応する第 1 と第 2 の偏波保存ファイバを介してまたは直接に前記等分波光カップラに並列接続されており、前記光カップラ側から前記第 2 導波路側までの間に前記光の電界ベクトルを  $\pi/2$  だけ回転させるファラデー回転子または  $1/2$  波長板が挿入されていることを特徴とする請求項 5 に記載の波長分合波器。

【請求項 9】 前記第 1 の 2 次元フォトリック結晶は互いに共振周波数の異なる複数の前記共振器を含み、前記第 2 の 2 次元フォトリック結晶も前記第 1 の 2 次元フォトリック結晶中の共振器と実質的の同一特性の複数の共振器を含むことを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれかに記載の波長分合波器。

【請求項 10】 請求項 1 から 9 のいずれかに記載された波長分合波器を含む波長モニタであって、前記共振器から放射される光を直接または光ファイバを介して検知する光検知器を備えたことを特徴とする波長モニタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は 2 次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器および波長モニタに関し、特に偏光に対するそれらの波長分合波器および波長モニタの適応性の改善に関するものである。なお、本願明細書における「光」の用語の意味は、可視光に比べて波長の長いまたは短い電磁波をも含むものとする。

【0002】

【従来の技術】

近年の波長分割多重通信システムの進展に伴い、分合波器、波長フィルタ、波長モニタなどの光学デバイスの重要性が高まっている。また、これらの光学デバイスの小型化が望まれている。例えば、光アンプ中継器ごとに波長モニタを設ける場合、光中継器のプラットフォーム上にそのモニタを載置する必要がある。しかし、現在使用されている波長モニタは大きいので、そのプラットフォーム上に

載置することが物理的に不可能である。このような光学デバイスの小型化の要望から、フォトニック結晶を利用して非常に小型の光学デバイスを開発することが試みられている。すなわち、フォトニック結晶においては、母材中で結晶格子のように周期的で微細な屈折率分布が人工的に設けられ、その人工的周期構造を利用して極めて小型の光学デバイスを実現することが可能である。

#### 【 0 0 0 3 】

フォトニック結晶が有する重要な特性として、フォトニックバンドギャップの存在がある。3 次元的屈折率周期を有するフォトニック結晶（3 次元フォトニック結晶）では、全ての方向に対して光の伝播が禁じられる完全バンドギャップを形成することができる。これにより、局所的な光の閉じ込め、自然放出光の制御、線状欠陥の導入による導波路の形成などが可能となり、微小光回路の実現が期待されている。

#### 【 0 0 0 4 】

他方、2 次元的屈折率周期構造を有するフォトニック結晶（2 次元フォトニック結晶）は比較的容易に作製され得ることから、その利用が盛んに検討されている。2 次元フォトニック結晶の屈折率周期構造は、例えば高屈折率の板材（通常「スラブ」と称される）を貫通する円柱孔を正方格子状または六方格子状に配列することによって形成され得る。または、低屈折率板材中に高屈折率材料の円柱を2 次元格子状に配列することによっても形成され得る。このような屈折率周期構造からフォトニックバンドギャップが生じ、板材中の面内方向（板材の両主面に平行な方向）において光の伝播が制御され得る。例えば、屈折率周期構造中に線状の欠陥を導入することによって、導波路を形成することができる（例えば、非特許文献 1 のPhysical Review B, Vol.62, 2000, pp.4488-4492参照）。

#### 【 0 0 0 5 】

図 5 は、特許文献 1 の特開 2 0 0 1 - 2 7 2 5 5 5 号公報に開示された波長分合波器を模式的な斜視図で示している。なお、本願の図面において、同一の参照符号は同一または相当部分を示している。図 5 の波長分合波器は、板材 1 内に設定された 2 次元六方格子点に形成された同一径の円筒状貫通穴 2（通常、穴内は空気）を有する 2 次元フォトニック結晶を利用している。このような 2 次元フォ

トニック結晶において、光は板材 1 の面内方向においてはバンドギャップにより伝播が禁じられ、面直方向（板材の両主面に直交する方向）には低屈折率材料（例えば空気）との界面による全反射により閉じこめられる。

#### 【0006】

図 5 におけるフォトニック結晶は、直線状の欠陥からなる導波路 3 を含んでいる。この直線状欠陥 3 は互いに隣接して直線状に配列された複数の格子点を含み、それらの格子点には貫通穴 2 が形成されていない。光は 2 次元フォトニック結晶の欠陥内を伝播することができ、直線状欠陥 3 は直線状導波路として作用し得る。直線状導波路においては、光を低損失で伝播させ得る波長域が比較的広く、したがって複数チャンネルの信号を含む複数波長帯域の光を伝播させることができる。

#### 【0007】

図 5 におけるフォトニック結晶は、点状欠陥からなる共振器 4 をも含んでいる。この点欠陥 4 は一つの格子点を含み、その格子点には他の格子点に比べて大きな径の貫通穴が形成されている。このように相対的に大きな径の貫通穴を含む欠陥は、一般にアクセプタ型の点状欠陥と称されている。他方、格子点に貫通穴が形成されていない欠陥は、一般にドナー型の点状欠陥と称されている。共振器 4 は、導波路 3 に対して電磁氣的に相互作用を及ぼし合い得る範囲内に近接して配置される。

#### 【0008】

図 5 に示されているような 2 次元フォトニック結晶において、複数の波長帯域（ $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\dots \lambda_i$ ,  $\dots$ ）を含む光 5 を導波路 3 内に導入すれば、共振器 4 の共振周波数に対応する特定波長  $\lambda_i$  を有する光がその共振器に捕獲され、点状欠陥内部で共振している間に、板材 1 の有限厚さに起因する Q 値の小さな面直方向へ波長  $\lambda_i$  の光 6 が放射される。すなわち、図 5 のフォトニック結晶は波長分波器として作用し得る。逆に、板材 1 の面直方向に光を点状欠陥 4 内へ入射することによって、その共振器 4 内で共振する波長  $\lambda_i$  の光を導波路 3 内に導入することができる。すなわち、図 5 のフォトニック結晶は波長合波器としても作用し得る。なお、導波路 3 または共振器 4 と外部との間の光の授受は、その導波路の端

面近傍または共振器近傍に光ファイバまたは光電変換素子を近接配置することによって行い得る。もちろん、その場合に、導波路端面または共振器と光ファイバ端面または光電変換素子との間に集光レンズ（コリメータ）が挿入されてもよい。

#### 【0 0 0 9】

図 5 に示されているような波長分合波器において、線状欠陥からなる導波路 3 と点状欠陥からなる共振器 4 との間隔を適宜に設定することにより、それらの導波路と共振器との間で授受する特定波長の光強度の割合を制御することも可能である。また、図 5 において点状欠陥 4 に関して板材 1 の面直方向に非対称性が導入されていないので、光はその点状欠陥 4 の上下方向に出力されるが、点状欠陥 4 において面直方向に非対称性を導入することによって、上下のいずれかのみに光を出力させることも可能である。そのような非対称性の導入方法としては、例えば円形断面の点状欠陥 4 の径を板材の厚さ方向に連続的または不連続的に変化させる方法を用いることができる。さらに、図 5 の波長分合波器は単一の共振器のみを含んでいるが、互いに共振波長の異なる複数の共振器を導波路に沿って配置することによって、複数チャネルの光信号を分合波し得ることが容易に理解されよう。なお、共振器 4 の共振波長は、例えば点状欠陥の寸法形状を変えることによって変えることができる。

#### 【0 0 1 0】

##### 【特許文献 1】

特開 2 0 0 1 - 2 7 2 5 5 5 号公報

#### 【0 0 1 1】

##### 【非特許文献 1】

Physical Review B, Vol.62, 2000, pp.4488-4492

#### 【0 0 1 2】

##### 【発明が解決しようとする課題】

図 5 に示されているような波長分合波器は、上述のように光信号 5 に含まれる特定波長  $\lambda_i$  の光のみを共振器 4 を介して光ビーム 6 として抽出することができるので、波長モニタに利用することができる。

## 【0013】

図6は、そのような2次元フォトリック結晶を利用した波長モニタの一例を模式的な斜視図で示している。この波長モニタにおいては、互いに共振波長の異なる3つの共振器4a、4b、4cが設けられており、それらの共振器から放射される特定波長の光を受け入れるように、それらの共振器に近接して光ファイバ10a、10b、10cの端面が配置されている。そして、それらの光ファイバは光電素子（図示せず）に接続され、それらの光電素子によって特定波長の光が検知される。

## 【0014】

しかし、図5に示されているような2次元フォトリック結晶1を利用した波長分合波器において、共振器4から放出光6として抽出し得るのは特定波長 $\lambda_i$ の光のうちでその電界ベクトルが2次元フォトリック結晶1の主面に平行な成分を有する部分だけである。他方、例えば光ファイバによって導波路3内に入射される光5は、その光ファイバやそれ以前の環境の影響によって、特定方向に偏光している場合がある。例えば、入射光5に含まれる波長 $\lambda_i$ の光の電界ベクトルが2次元フォトリック結晶1の主面に対して垂直に偏光している場合、図1の波長分合波器を利用して波長 $\lambda_i$ の光をモニタできないことになる。また、波長 $\lambda_i$ の光の電界ベクトルが2次元フォトリック結晶1の主面に対して傾斜するように偏光している場合においても、図1の波長分合波器を利用して波長 $\lambda_i$ の光をモニタできるのはその光のうちで2次元フォトリック結晶1の主面に平行な電界ベクトル成分を有する部分だけであるので、入射光5に含まれる波長 $\lambda_i$ の光の強度割合を正しくモニタすることができない。

## 【0015】

このような従来技術における状況に鑑み、本発明は、2次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器において入射光の偏光状態にかかわらず正しい強度比で特定波長の光を抽出することを可能にし、さらに、そのように改善された波長分合波器と光検知機とを組合せて波長モニタを提供することを主要な目的としている。

## 【0016】

## 【課題を解決するための手段】

本発明の一つの態様による波長分合波器は第1と第2の2次元フォトニック結晶を含み、第1の2次元フォトニック結晶は線状欠陥からなる第1の導波路と点状欠陥からなる第1の共振器とを含み、第1の共振器は第1の導波路から特定波長の光を取り込んで第1のフォトニック結晶外へ放射しまたは逆に第1のフォトニック結晶外から特定波長の光を第1の導波路内へ導入するように作用し、第2の2次元フォトニック結晶は第1の導波路と実質的に同一特性の第2の導波路および第1の共振器と実質的に同一特性の第2の共振器とを含み、第1の2次元フォトニック結晶の主面と第1の導波路中の光の電界ベクトルとが任意の角度 $\alpha$ をなす場合に、第2の2次元フォトニック結晶の主面と前記第2の導波路中の光の電界ベクトルとが $\alpha + (\pi/2)$ の角度をなすように前記第1と前記第2の導波路が互いに光を授受するように光学的に直列接続されていることを特徴としている。

## 【0017】

なお、第1と第2の2次元フォトニック結晶はそれらの主面が互いに直交するように配置され、第1と第2の導波路が偏波保存ファイバを介してまたは直接に互いに直列接続され得る。また、第1と第2の2次元フォトニック結晶はそれらの主面が互いに平行になるように配置され、第1と第2の導波路は偏波保存ファイバを介して互いに直列接続され、その偏波保存ファイバが第1の導波路側から第2導波路側までにそのファイバ軸の周りに $\pi/2$ だけ捩られていてもよい。さらに、ファイバ軸の周りに $\pi/2$ だけ捩られた偏波保存ファイバの代わりに、光の電界ベクトルを $\pi/2$ だけ回転させるファラデー回転子または $1/2$ 波長板が用いられてもよい。

## 【0018】

本発明の他の態様による波長分合波器は第1と第2の2次元フォトニック結晶を含み、第1の2次元フォトニック結晶は線状欠陥からなる第1の導波路と点状欠陥からなる第1の共振器とを含み、第1の共振器は第1の導波路から特定波長の光を取り込んで第1のフォトニック結晶外へ放射しまたは逆に第1のフォトニック結晶外から特定波長の光を第1の導波路内へ導入するように作用し、第2の

2次元フォトリック結晶は第1の導波路と実質的に同一特性の第2の導波路および第1の共振器と実質的に同一特性の第2の共振器とを含み、第1と第2の導波路は等分波光カップラを介して1つの光ファイバに並列接続されており、第1の2次元フォトリック結晶の主面と第1の導波路中の光の電界ベクトルとが任意の角度 $\alpha$ をなす場合に、第2の2次元フォトリック結晶の主面と第2の導波路中の光の電界ベクトルとが $\alpha + (\pi/2)$ の角度をなすように第1と第2の導波路が等分波光カップラと光学的に接続されていることを特徴としている。

#### 【0019】

なお、第1と第2の2次元フォトリック結晶はそれらの主面が互いに直交するように配置され、第1と第2の導波路はそれぞれに対応する第1と第2の偏波保存ファイバを介してまたは直接に等分波光カップラに並列接続され得る。また、第1と第2の2次元フォトリック結晶はそれらの主面が互いに平行になるように配置され、第1の導波路は第1の偏波保存ファイバを介してまたは直接に等分波カップラに接続され、第2の導波路は第2の偏波保存ファイバを介して等分波光カップラに接続され、そして第2の偏波保存ファイバが光カップラ側から第2導波路側までにそのファイバ軸の周りに $\pi/2$ だけ捩られていてもよい。さらに、ファイバ軸の周りに $\pi/2$ だけ捩られた第2の偏波保存ファイバの代わりに、光の電界ベクトルを $\pi/2$ だけ回転させるファラデー回転子または $1/2$ 波長板が用いられてもよい。

#### 【0020】

さらに、上述の波長分合波器において、第1の2次元フォトリック結晶は互いに共振周波数の異なる複数の共振器を含むことができ、第2の2次元フォトリック結晶も第1の2次元フォトリック結晶中の共振器と実質的に同一特性の複数の共振器を含み得る。

#### 【0021】

さらにまた、上述のような波長分合波器における共振器から放射される光を直接または光ファイバを介して検知する光検知器を備えることによって、波長モニタを得ることができる。

#### 【0022】

## 【発明の実施の形態】

## (実施形態 1)

図 1 は、本発明の実施形態 1 による 2 次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器を模式的な斜視図で示している。この波長分合波器は、第 1 の 2 次元フォトリック結晶 1 a と第 2 の 2 次元フォトリック結晶 1 b とを含んでいる。これらの 2 次元フォトリック結晶は、図 5 の場合と同様に、貫通穴 2、導波路 3、および共振器 4 を含んでいる。そして、これら 2 つの 2 次元フォトリック結晶 1 a、1 b に含まれる導波路 3 および共振器 4 は、互いに同一の導波特性および共振特性を有している。

## 【0023】

第 1 の 2 次元フォトリック結晶 1 a の導波路 3 内には、好ましくはスポットサイズ変換器 1 2 と細線導波路 1 3 を介して、光ファイバ 1 1 から信号光が入射される。第 1 の 2 次元フォトリック結晶 1 a の導波路 3 内に入射された光に含まれる特定波長  $\lambda_i$  の光のうちで、その第 1 の 2 次元フォトリック結晶 1 a の主面に平行な電界ベクトル成分を有する光部分が共振器 4 に捕獲されてそこから放射される。

## 【0024】

第 1 の 2 次元フォトリック結晶 1 a の共振器 4 で捕獲されなかった残りの光は、直接または偏波保存ファイバ 1 4 a を利用して第 2 の 2 次元フォトリック結晶 1 b の導波路 3 内に導入される。すなわち、第 1 と第 2 の 2 次元フォトリック結晶 1 a、1 b は、互いに直列接続されている。この場合にも、偏波保存ファイバ 1 4 a と 2 次元フォトリック結晶 1 a、1 b との間に、スポットサイズ変換器 1 2 と細線導波路 1 3 を介することが好ましい。ここで重要なことは、第 1 と第 2 の 2 次元フォトリック結晶 1 a、1 b の主面が互いに直交関係になるように配置されていることである。

## 【0025】

第 2 の 2 次元フォトリック結晶 1 b の導波路 3 内に導入された光の中には、第 1 の 2 次元フォトリック結晶 1 a の主面に直交する電界ベクトル成分を有する特定波長  $\lambda_i$  の光部分が残っている。ここで、第 1 と第 2 の 2 次元フォトリック結

晶 1 a、1 b の主面は互いに直交関係にあるので、第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 a の主面に直交する電界ベクトル成分は、第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 b の主面に平行である。そして、第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 b の主面に平行な電界ベクトル成分を有する特定波長  $\lambda_i$  の光部分は、その第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 b の共振器 4 に捕獲されてそこから放射される。

#### 【0026】

すなわち、第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 a の共振器 4 から放射される特定波長  $\lambda_i$  の第 1 の光部分と第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 b の共振器 4 から放射される特定波長  $\lambda_i$  の第 2 の光部分とは、互いに直交する電界ベクトルを有している。そして、これら第 1 と第 2 の光部分の強度を光検知器で検知して合成することによって、特定波長  $\lambda_i$  の光が偏光しているか否かにかかわらず、入射信号光中のその特定波長  $\lambda_i$  の光の強度割合を正確にモニタすることができる。

#### 【0027】

##### (実施形態 2)

図 2 は、本発明の実施形態 2 による 2 次元フォトニック結晶を利用した波長分合波器を模式的な斜視図で示している。この実施形態 2 の波長分合波器においても、実施形態 1 に類似して、第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 c と第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 d とが偏波保存ファイバ 1 4 b を介して互いに直列接続されている。そして、これら 2 つの 2 次元フォトニック結晶に含まれる導波路および共振器は、互いに同一の導波特性および共振特性を有している。

#### 【0028】

しかし、図 2 の実施形態 2 においては、第 1 と第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 c、1 d の主面が互いに平行関係になるように配置され、偏波保存ファイバ 1 4 b が第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 c 側から第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 d 側までにそのファイバ軸の周りに  $\pi/2$  だけ振られていることにおいて、図 1 の実施形態 1 と異なっている。

#### 【0029】

このような実施形態 2 において、第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 c の導波路 3 内に入射された光に含まれる特定波長  $\lambda_i$  の光のうちで、その第 1 の 2 次元フ

フォトニック結晶 1 c の主面に平行な電界ベクトル成分を有する光部分が共振器 4 に捕獲されてそこから放射される。

#### 【0030】

第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 c の共振器 4 で捕獲されなかった残りの光は、偏波保存ファイバ 1 4 b 内に導入される。その偏波保存ファイバ 1 4 b 内に導入される光の中には、第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 c の主面に直交する電界ベクトル成分を有する特定波長  $\lambda_i$  の光部分が残っている。ここで、偏波保存ファイバ 1 4 b は第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 c 側から第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 d 側までに  $\pi/2$  だけ捩じられているので、それに伴って、特定波長  $\lambda_i$  の光部分の電界ベクトルも  $\pi/2$  だけ回転させられて、第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 d の導波路 3 内に導入される。

#### 【0031】

すなわち、第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 c の主面に対して直交する電界ベクトル成分を有していた特定波長  $\lambda_i$  の光部分は、第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 d 内ではその主面に平行になっている。そして、第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 d の主面に平行な電界ベクトル成分を有する特定波長  $\lambda_i$  の光部分は、その第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 d の共振器 4 に捕獲されてそこから放射される。

#### 【0032】

したがって、第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 c の共振器 4 から放射される特定波長  $\lambda_i$  の第 1 の光部分と第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 d の共振器 4 から放射される特定波長  $\lambda_i$  の第 2 の光部分とは、元来は互いに直交する電界ベクトルを有していた光部分である。したがって、これら第 1 と第 2 の光部分の強度を光検知器で検知して合成することによって、特定波長  $\lambda_i$  の光が偏光しているか否かにかかわらず、入射信号光中のその特定波長  $\lambda_i$  の光の強度割合を正確にモニタすることができる。

#### 【0033】

##### (実施形態 3)

図 3 は、本発明の実施形態 3 による 2 次元フォトニック結晶を利用した波長分

合波器を模式的な斜視図で示している。この波長分合波器は、1本の光ファイバ 1 1 に対して等分波光カップラ 1 5 と第 1 および第 2 の偏波保存ファイバ 1 4 c、1 4 d とを介して並列に接続された第 1 および第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 e、1 f を含んでいる。これらの 2 次元フォトニック結晶は、図 5 の場合と同様に、貫通穴 2、導波路 3、および共振器 4 を含んでいる。そして、これら 2 つの 2 次元フォトニック結晶に含まれる導波路および共振器は、互いに同一の導波特性および共振特性を有している。

#### 【0 0 3 4】

第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 e の導波路 3 内には、光カップラ 1 5 によって等分されて第 1 の偏波保存ファイバ 1 4 c 内に導入された光信号が、好ましくはスポットサイズ変換器 1 2 と細線導波路 1 3 を介して入射される。第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 e の導波路 3 内に入射された光に含まれる特定波長  $\lambda_i$  の光のうちで、その第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 e の主面に平行な電界ベクトル成分を有する光部分が共振器 4 に捕獲されてそこから放射される。

#### 【0 0 3 5】

同様に、第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 f の導波路 3 内には、光カップラ 1 5 によって等分されて第 2 の偏波保存ファイバ 1 4 d 内に導入された光信号が、好ましくはスポットサイズ変換器 1 2 と細線導波路 1 3 を介して入射される。第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 f の導波路 3 内に入射された光に含まれる特定波長  $\lambda_i$  の光のうちで、その第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 f の主面に平行な電界ベクトル成分を有する光部分が共振器 4 に捕獲されてそこから放射される。

#### 【0 0 3 6】

ここで重要なことは、第 1 と第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 e、1 f の主面が互いに直交関係になるように配置されていることである。すなわち、第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 e の共振器 4 から放射される特定波長  $\lambda_i$  の第 1 の光部分と第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 f の共振器 4 から放射される特定波長  $\lambda_i$  の第 2 の光部分とは、互いに直交する電界ベクトルを有している。したがって、これら第 1 と第 2 の光部分の強度を光検知器で検知して合成することによって、特定波長  $\lambda_i$  の光が偏光しているか否かにかかわらず、入射信号光中のその特定

波長  $\lambda_i$  の光の強度割合を正確にモニタすることができる。なお、第 1 と第 2 の 2 次元フォトリック結晶 1 e、1 f は、偏波保存ファイバ 1 4 c、1 4 d を介することなく等分波カップラ 1 5 に直接接続されてもよい。

#### 【0 0 3 7】

##### (実施形態 4)

図 4 は、本発明の実施形態 4 による 2 次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器を模式的な斜視図で示している。この実施形態 4 の波長分合波器においても、第 3 の実施形態に類似して、1 本の光ファイバ 1 1 に対して等分波光カップラ 1 5 と第 1 および第 2 の偏波保存ファイバ 1 4 e、1 4 f とを介して並列に接続された第 1 および第 2 の 2 次元フォトリック結晶 1 g、1 h を含んでいる。そして、これら 2 つの 2 次元フォトリック結晶に含まれる導波路 3 および共振器 4 は、互いに同一の導波特性および共振特性を有している。

#### 【0 0 3 8】

しかし、図 4 の実施形態 4 においては、第 1 と第 2 の 2 次元フォトリック結晶 1 g、1 h の主面が互いに平行関係になるように配置され、第 2 の偏波保存ファイバ 1 4 f が光カップラ 1 5 側から第 2 の 2 次元フォトリック結晶 1 h 側までにそのファイバ軸の周りに  $\pi/2$  だけ捩られていることにおいて、図 3 の実施形態 3 と異なっている。

#### 【0 0 3 9】

第 1 の 2 次元フォトリック結晶 1 g の導波路 3 内には、光カップラ 1 5 によって等分されて第 1 の偏波保存ファイバ 1 4 e 内に導入された光信号が入射される。第 1 の 2 次元フォトリック結晶 1 g の導波路 3 内に入射された光に含まれる特定波長  $\lambda_i$  の光のうちで、その第 1 の 2 次元フォトリック結晶 1 g の主面に平行な電界ベクトル成分を有する光部分が共振器 4 に捕獲されてそこから放射される。同様に、第 2 の 2 次元フォトリック結晶 1 h の導波路 3 内には、光カップラ 1 5 によって等分されて第 2 の偏波保存ファイバ 1 4 f 内に導入された光信号が入射される。第 2 の 2 次元フォトリック結晶 1 h の導波路 3 内に入射された光に含まれる特定波長  $\lambda_i$  の光のうちで、その第 2 の 2 次元フォトリック結晶 1 h の主面に平行な電界ベクトル成分を有する光部分が共振器 4 に捕獲されてそこから放射さ

れる。

#### 【0 0 4 0】

ここで重要なことは、第 1 と第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 g、1 h の主面は互いに平行関係になるように配置されているが、光カップラ 1 5 側から第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 h 側までに第 2 の偏波保存ファイバ 1 4 f がそのファイバ軸の周りに  $\pi/2$  だけ振られていることである。

#### 【0 0 4 1】

すなわち、第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 g の共振器 4 から放射される特定波長  $\lambda_i$  の第 1 の光部分と第 2 の 2 次元フォトニック結晶 1 h の共振器 4 から放射される特定波長  $\lambda_i$  の第 2 の光部分とは、元来は互いに直交する電界ベクトルを有していた光部分である。したがって、これら第 1 と第 2 の光部分の強度を光検知器で検知して合成することによって、特定波長  $\lambda_i$  の光が偏光しているか否かにかかわらず、入射信号光中のその特定波長  $\lambda_i$  の光の強度割合を正確にモニタすることができる。なお、第 1 の 2 次元フォトニック結晶 1 g は、第 1 の偏波保存ファイバ 1 4 e を介することなく等分波カップラ 1 5 に直接接続されてもよい。

#### 【0 0 4 2】

ところで、上述の実施形態においてファイバ軸の周りに  $\pi/2$  だけ振られた偏波保存ファイバの代わりに、光の電界ベクトルを  $\pi/2$  だけ回転させるファラデー回転子または  $1/2$  波長板が等価的に用いられ得ることは言うまでもない。その場合、上述の第 1 と第 2 の 2 次元フォトニック結晶がファラデー回転子または  $1/2$  波長板を挟んで 1 チップの光学部品として形成することも可能である。

#### 【0 0 4 3】

また、以上の実施形態における一つの 2 次元フォトニック結晶では一つの導波路の近傍に一つの共振器のみが配置されているが、図 6 に例示されているように、一つの 2 次元フォトニック結晶中で互いに共振周波数の異なる複数の共振器を一つの導波路に沿って近接配置することによって、互いに波長の異なる複数チャネルの光信号を処理し得るマルチチャネル波長分合波器を形成し得ることも言うまでもない。

**【 0 0 4 4 】**

さらに、共振器 4 に近接対面させて光ファイバの端面を配置することによって、共振器 4 から板材 1 の面直方向に放射される光をその光ファイバ内に導入することができるし、逆に光ファイバから共振器 4 内へ光を注入することもできる。さらに、共振器 4 に近接対面して光電変換素子を配置することによって、共振器からの光の波長をモニタしまたは強度変調を受信することができる。もちろん、共振器 4 と光ファイバ端面または光電変換素子との間に集光レンズ（コリメータ）が挿入されてもよい。

**【 0 0 4 5 】****【発明の効果】**

以上のように、本発明によれば、2次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器において入射光の偏光状態にかかわらず正しい強度比で特定波長の光を抽出することができ、さらに、そのように改善された波長分合波器と光検知機とを組合せて波長モニタを提供することができる。

**【図面の簡単な説明】**

【図 1】 本発明の実施形態の一例における 2 次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器を示す模式的な斜視図である。

【図 2】 本発明の実施形態の他の例における 2 次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器を示す模式的な斜視図である。

【図 3】 本発明の実施形態のさらに他の例における 2 次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器を示す模式的な斜視図である。

【図 4】 本発明の実施形態のさらに他の例における 2 次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器を示す模式的な斜視図である。

【図 5】 先行技術による 2 次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器の一例を示す模式的な斜視図である。

【図 6】 先行技術による 2 次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器の他の例を示す模式的な斜視図である。

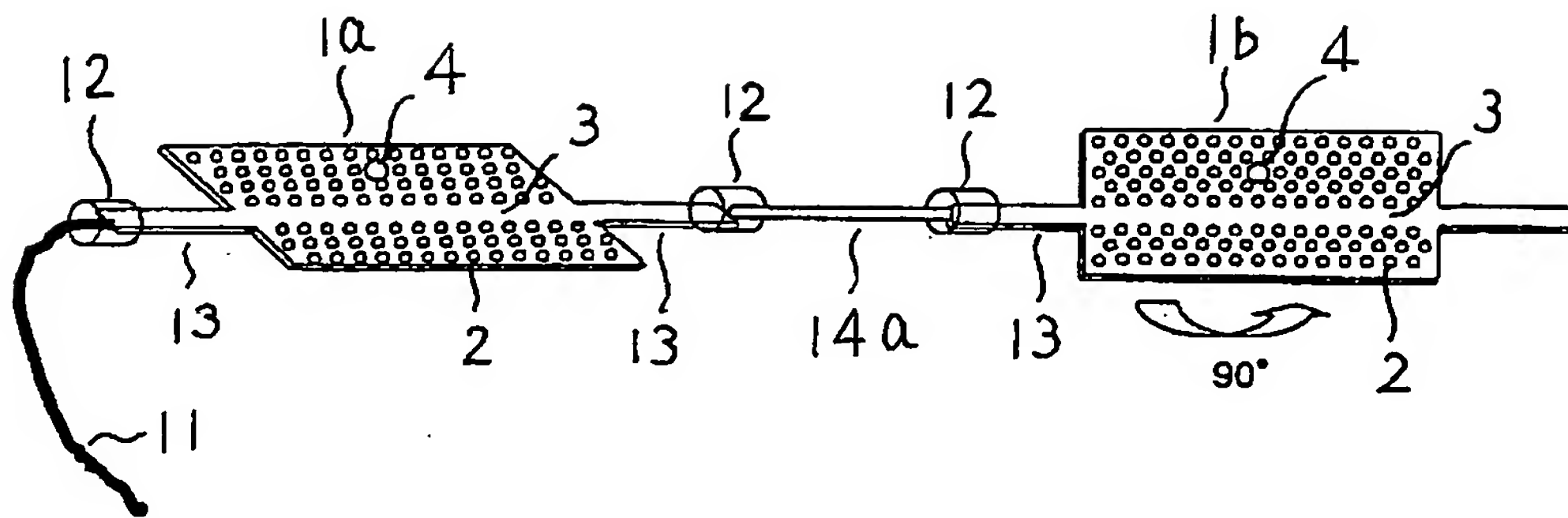
**【符号の説明】**

1、1 a、1 b、1 c、1 d、1 e、1 f、1 g、1 h 板材または 2 次元フ

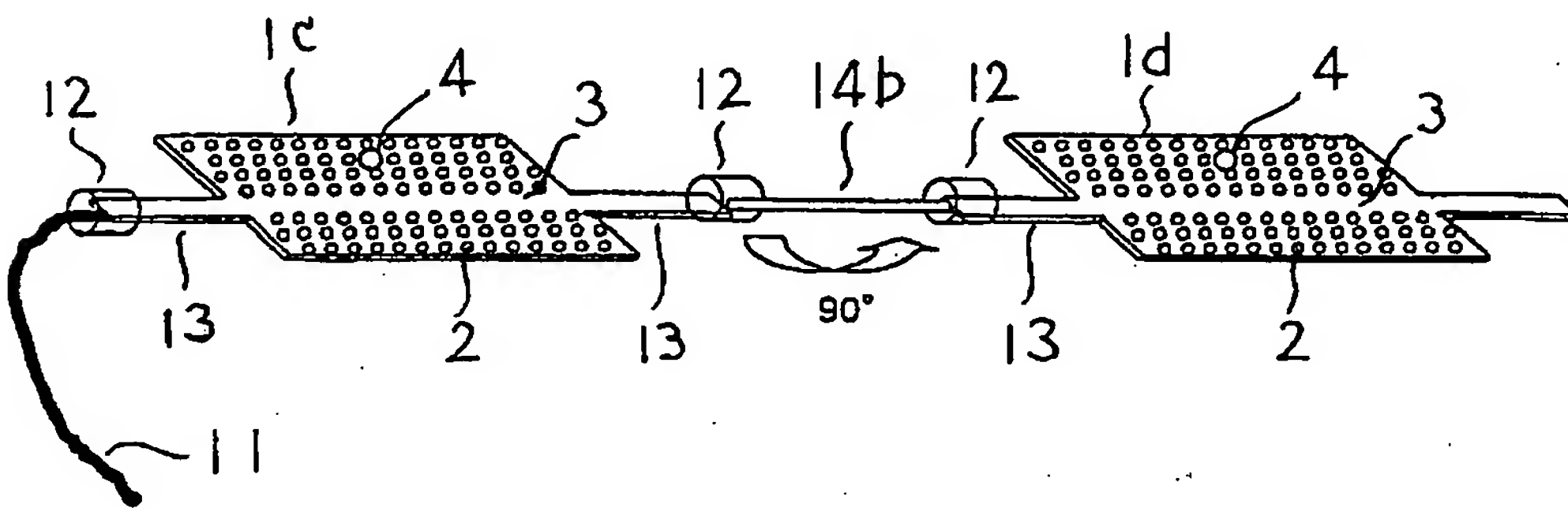
ォトニック結晶、2 貫通穴、3 線状欠陥からなる導波路、4、4 a、4 b、  
4 c 点状欠陥からなる共振器、5 導波路へ導入される光信号、6 共振器か  
ら放射される光、1 0 a、1 0 b、1 0 c、1 1 光ファイバ、1 2 スポット  
サイズ変換器、1 3 細線導波路、1 4 a、1 4 b、1 4 c、1 4 d、1 4 e、  
1 4 f 偏波保存ファイバ、1 5 等分波光カップラ。

【書類名】 図面

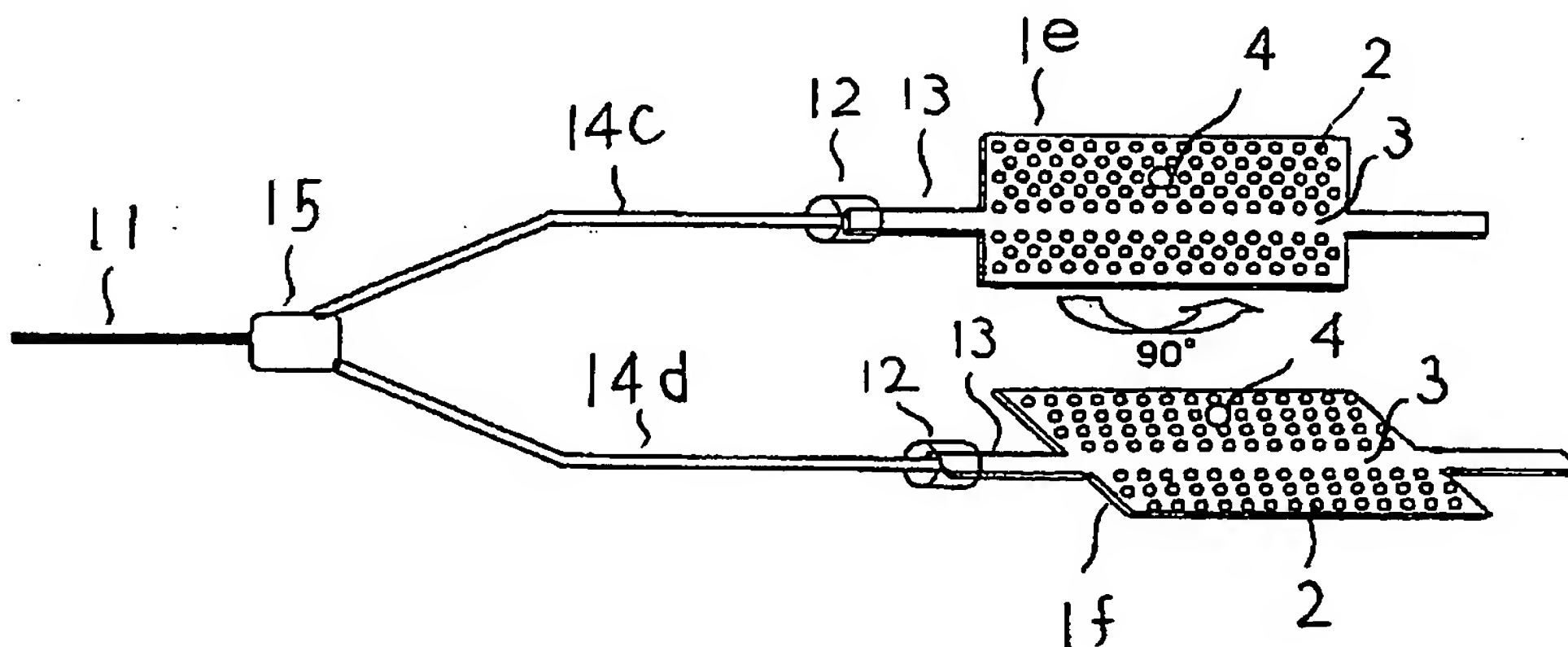
【図 1】



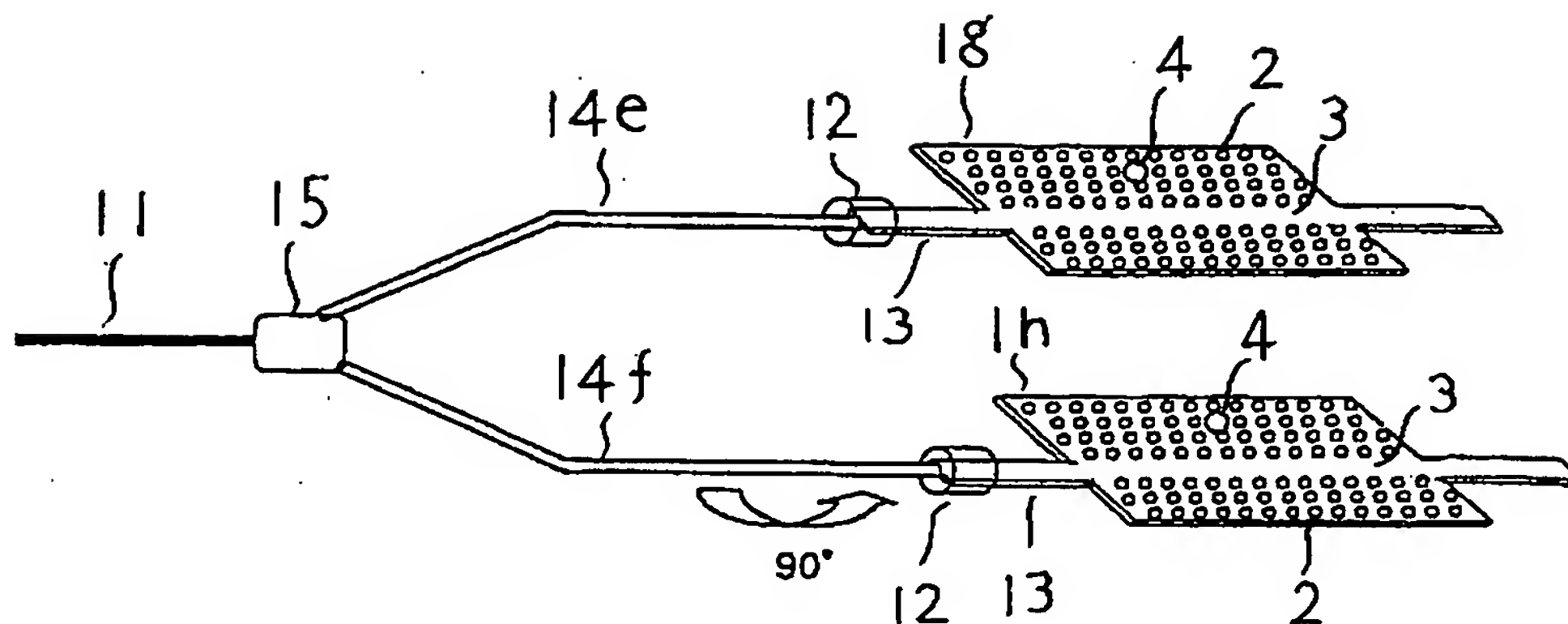
【図 2】



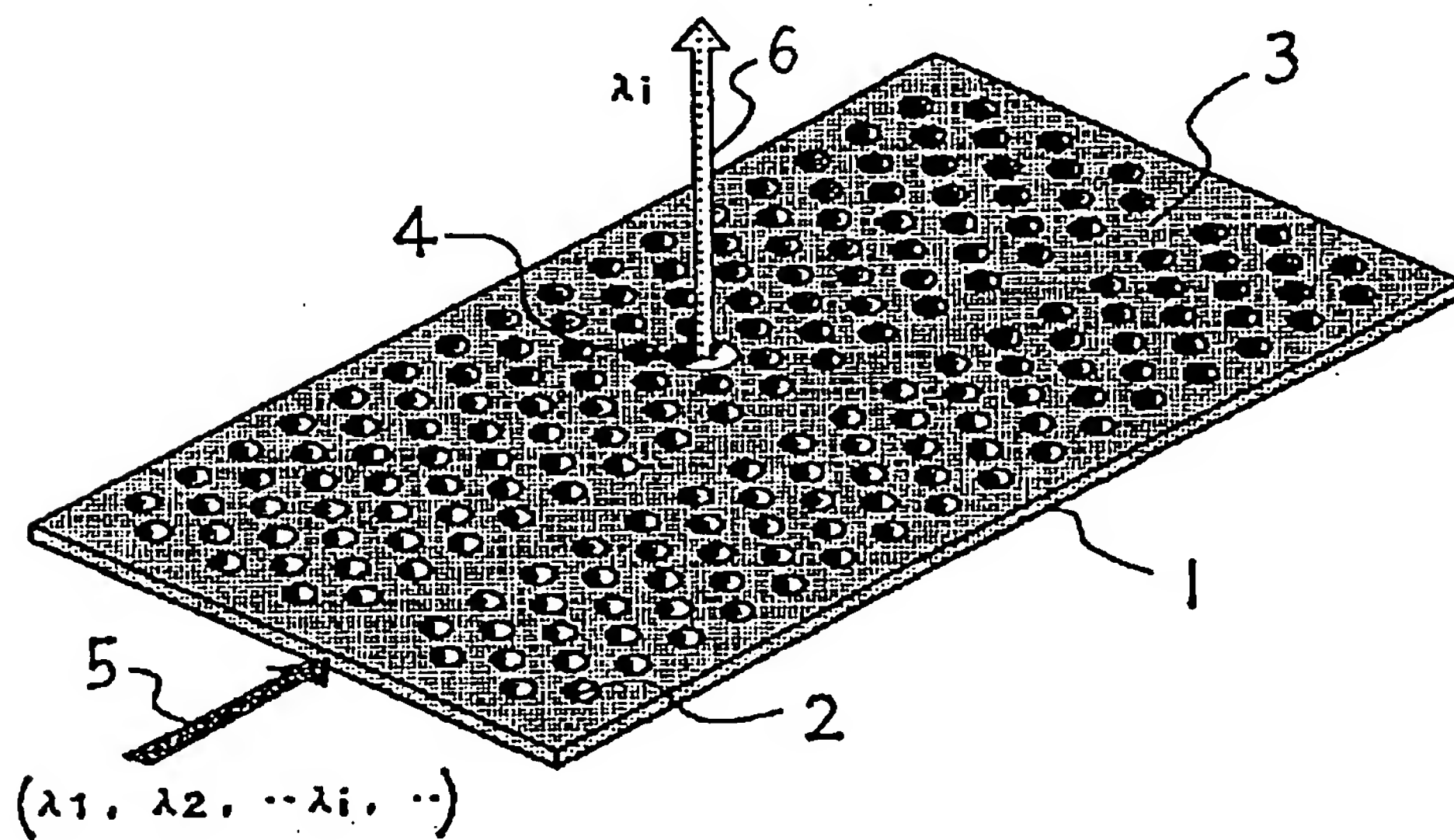
【図 3】



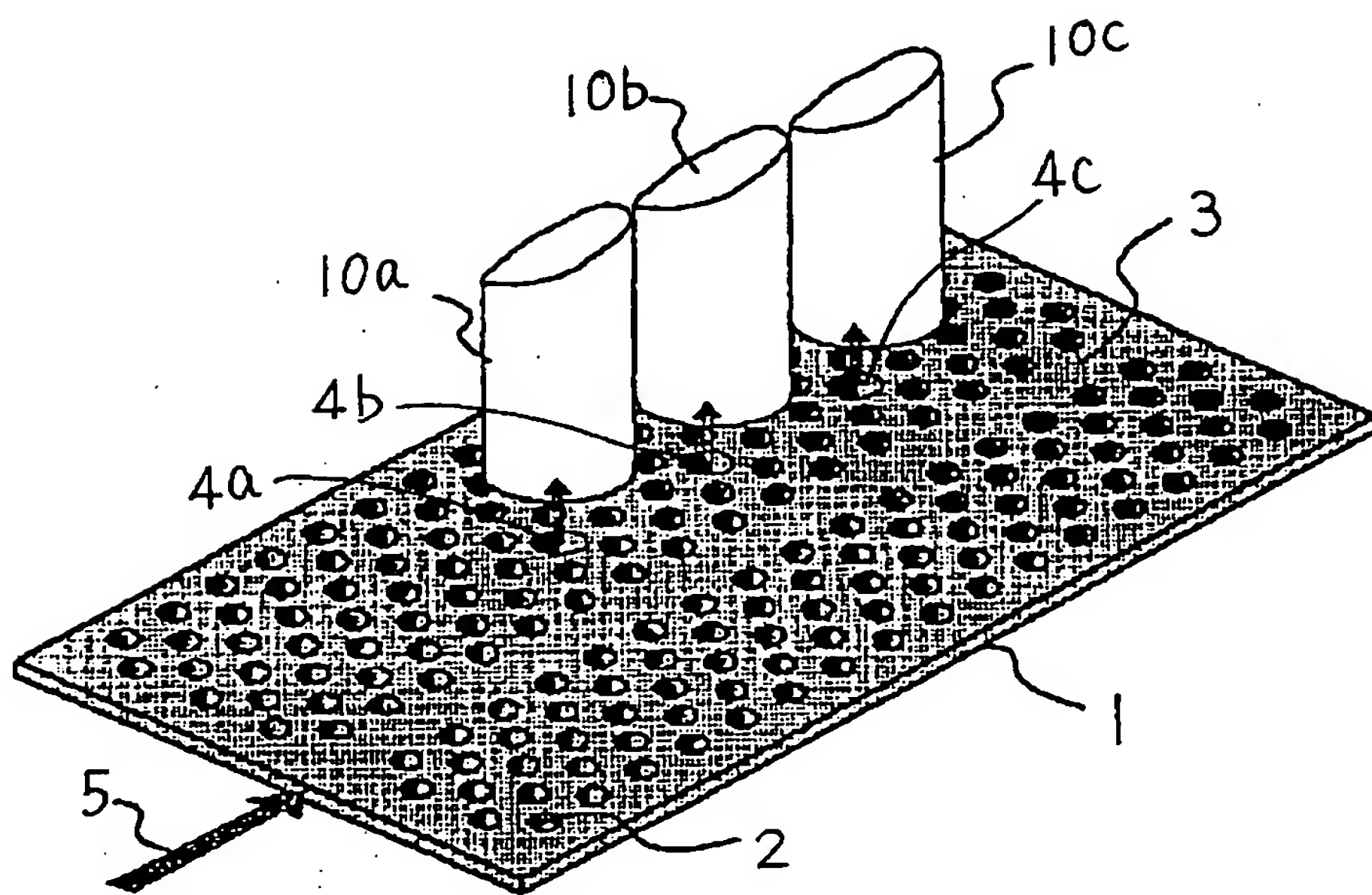
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 2次元フォトリック結晶を利用した波長分合波器において、入射光の偏光状態に拘わらず正しい強度比で特定波長の光を抽出することを可能にする。

【解決手段】 第1と第2の2次元フォトリック結晶を含む波長分合波器であって、第1の2次元フォトリック結晶は第1の導波路と第1の共振器とを含み、第1の共振器は第1の導波路から特定波長の光を取り込んで第1のフォトリック結晶外へ放射するように作用し、第2の2次元フォトリック結晶は第1の導波路と実質的に同一特性の第2の導波路および第1の共振器と実質的に同一特性の第2の共振器を含み、第1の2次元フォトリック結晶の主面と第1の導波路中の光の電界ベクトルとが任意の角度 $\alpha$ をなす場合に、第2の2次元フォトリック結晶の主面と第2の導波路中の光の電界ベクトルとが $\alpha + (\pi/2)$ の角度をなすように第1と第2の導波路が光学的に接続されている。

【選択図】 図1

## 認定・付加情報

特許出願の番号 特願 2 0 0 3 - 0 7 1 8 3 4  
受付番号 5 0 3 0 0 4 3 1 3 6 9  
書類名 特許願  
担当官 北原 良子 2 4 1 3  
作成日 平成 1 5 年 5 月 1 5 日

## &lt; 認定情報・付加情報 &gt;

## 【特許出願人】

【識別番号】 391012442  
【住所又は居所】 京都府京都市左京区吉田本町 3 6 の 1 番地  
【氏名又は名称】 京都大学長

## 【特許出願人】

【識別番号】 000002130  
【住所又は居所】 大阪府大阪市中心区北浜四丁目 5 番 3 3 号  
【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

## 【代理人】

申請人  
【識別番号】 100064746  
【住所又は居所】 大阪府大阪市北区南森町 2 丁目 1 番 2 9 号 三井  
住友銀行南森町ビル 深見特許事務所  
【氏名又は名称】 深見 久郎

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100085132  
【住所又は居所】 大阪府大阪市北区南森町 2 丁目 1 番 2 9 号 三井  
住友銀行南森町ビル 深見特許事務所  
【氏名又は名称】 森田 俊雄

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100083703  
【住所又は居所】 大阪府大阪市北区南森町 2 丁目 1 番 2 9 号 三井  
住友銀行南森町ビル 深見特許事務所  
【氏名又は名称】 仲村 義平

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100096781  
【住所又は居所】 大阪府大阪市北区南森町 2 丁目 1 番 2 9 号 三井  
住友銀行南森町ビル 深見特許事務所  
【氏名又は名称】 堀井 豊

次頁有

## 認定・付加情報（続き）

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100098316  
【住所又は居所】 大阪府大阪市北区南森町 2 丁目 1 番 2 9 号 三井  
住友銀行南森町ビル 深見特許事務所  
【氏名又は名称】 野田 久登

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100109162  
【住所又は居所】 大阪府大阪市北区南森町 2 丁目 1 番 2 9 号 三井  
住友銀行南森町ビル 深見特許事務所  
【氏名又は名称】 酒井 將行

次頁無

特願 2 0 0 3 - 0 7 1 8 3 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 3 9 1 0 1 2 4 4 2 ]

1 . 変 更 年 月 日

1 9 9 1 年    1 月 2 2 日

[ 変 更 理 由 ]

新 規 登 録

住    所

京 都 府 京 都 市 左 京 区 吉 田 本 町 3 6 の 1 番 地

氏    名

京 都 大 学 長

特願 2 0 0 3 - 0 7 1 8 3 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 2 1 3 0 ]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名

住友電気工業株式会社